



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11095344 A**(43) Date of publication of application: **09 . 04 . 99**

(51) Int. Cl.

**G03B 37/00**  
**G06T 1/00**  
**H04N 5/225**

(21) Application number: **09253978**(22) Date of filing: **18 . 09 . 97**(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**

(72) Inventor: **YOKOYA NAOKAZU**  
**TAKEMURA HARUO**  
**YAMAZAWA KAZUMASA**  
**IWASA HIDEHIKO**

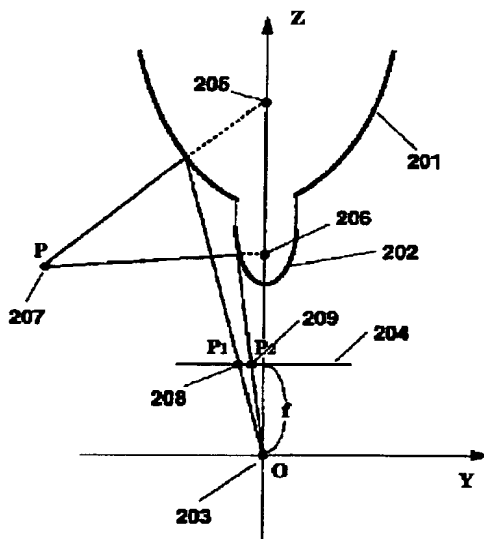
(54) **OMNIAZIMUTH STEREOSCOPIC PICTURE TAKING DEVICE**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To measure an omniazimuth stereoscopic picture in real time.

**SOLUTION:** Two hyperboloid mirrors 201 and 202 having different curvature are arranged so that outside focal points may be aligned at an origin 203, and a camera is arranged so that the center of a lens may be at the origin, whereby two stereoscopic pairs 208 and 209 of a measuring point 207 are simultaneously projected to a projection surface 204. Thus, the stereoscopic picture of all the circumference is taken at a time, and the stereoscopic corresponding points are measured just by being searched only on a line in a radial direction from the origin on the projection surface and three-dimensional coordinates are calculated at high speed. Or two pyramid mirrors are arranged symmetrically up and down, whereby the omniazimuth stereoscopic picture having high resolution is taken.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-95344

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月9日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 3 B 37/00

G 0 3 B 37/00

A

G 0 6 T 1/00

H 0 4 N 5/225

D

H 0 4 N 5/225

G 0 6 F 15/64

M

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-253978

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月18日

特許法第30条第1項適用申請有り 1997年3月6日 社  
団法人電子情報通信学会発行の「1997年電子情報通信学  
会総合大会講演論文集 情報・システム2」に発表

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 横矢 直和

奈良県生駒市高山町8916-5 B-301

(72) 発明者 竹村 治雄

京都府相楽郡木津川町木津川台1-27-9

(72) 発明者 山澤 一誠

奈良県生駒市真弓1-3-7-304

(72) 発明者 岩佐 英彦

奈良県生駒市高山町8916-5 大学宿舍C  
-202

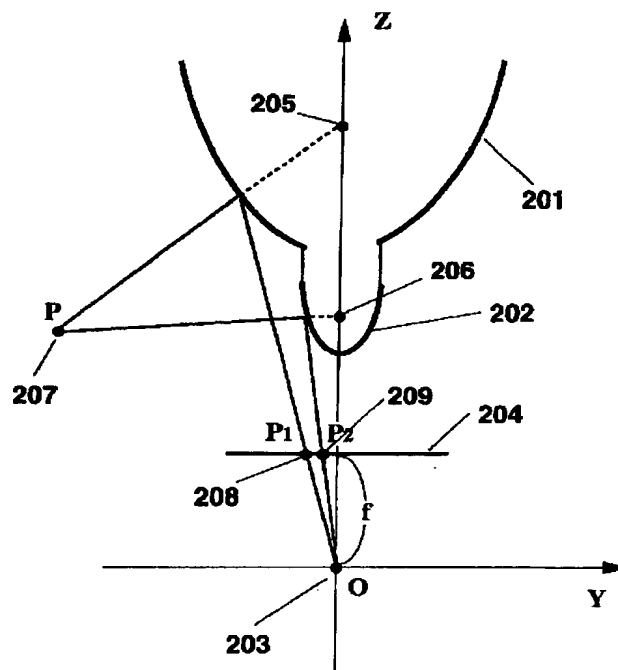
(74) 代理人 弁理士 松田 正道

(54) 【発明の名称】 全方位ステレオ画像撮影装置

(57) 【要約】

【課題】 全方位のステレオ画像をリアルタイムに計測すること。

【解決手段】 曲率の違う2つの双曲面ミラー201, 202を、外側の焦点を、原点203で一致するように配置し、その原点にレンズ中心がくるようカメラを配置することにより、投影面204に、計測点207の2つのステレオ対208, 209が同時に投影されることにより、一度に全周囲のステレオ画像が撮影され、またステレオ対応点も、投影面の原点から放射方向の直線上だけを探査するだけで計測でき、高速に3次元座標を計算できる。あるいは角錐ミラーを2つ上下対称に配置することにより、解像度の高い全方位のステレオ画像を撮影することができる。



# 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定方向の全方位の像を反射させる第 1 のミラーと、  
前記第 1 のミラーと中心軸同士が実質上一致した、所定方向の全方位の像を反射させる第 2 のミラーと、  
前記第 1 のミラー及び第 2 のミラーによりそれぞれ反射した同一対象物の 2 種類の画像をステレオ画像として撮像するカメラとを備え、  
前記第 1 のミラー、前記第 2 のミラー、及び前記カメラは、前記 2 種類の画像が前記カメラ内においてそれぞれ異なる位置に像を結ぶように配置されていることを特徴とする全方位ステレオ画像撮影装置。

【請求項 2】 前記第 1 及び第 2 のミラーは、何れも双曲面のミラーであり、双方の双曲面の中心軸が一致し、外側の焦点の位置が一致するよう配置されており、前記カメラは、前記外側の焦点の位置が、前記カメラのレンズ中心の位置に一致するように配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の全方位ステレオ画像撮影装置。

【請求項 3】 所定方向の実質上全方位の像を反射させる第 1 の角錐型ミラーと、  
前記第 1 の角錐型ミラーと中心軸同士が実質上一致した、所定方向の実質上全方位の像を反射させる第 2 の角錐型ミラーと、  
前記第 1 の角錐型ミラーの一つの反射面、及びその反射面に対応した前記第 2 の角錐型ミラーの一つの反射面によりそれぞれ反射した同一対象物の 2 種類の画像をステレオ画像として撮像する、前記第 1 又は第 2 の角錐型ミラーの反射面毎に設けられたカメラとを備え、  
前記第 1 の角錐型ミラーの前記一つの反射面、前記第 2 の角錐型ミラーの前記一つの反射面、及び前記カメラは、前記 2 種類の画像が前記カメラ内においてそれぞれ異なる位置に像を結ぶように配置されていることを特徴とする全方位ステレオ画像撮影装置。

【請求項 4】 所定方向の実質上全方位の像を反射させる第 1 の角錐型ミラーと、  
前記第 1 の角錐型ミラーと中心軸同士が実質上一致しており、且つ、角錐型ミラーの底面同士が対向するように配置された、所定方向の実質上全方位の像を反射させる第 2 の角錐型ミラーと、  
前記第 1 の角錐型ミラーの一つの反射面、及びその反射面に対応した前記第 2 の角錐型ミラーの一つの反射面によりそれぞれ反射した同一対象物の 2 種類の画像の一方を、ステレオ画像の片方の画像として撮像するカメラとを備え、  
前記カメラは、前記第 1 の角錐型ミラーのそれぞれの反射面毎に、及び前記第 2 の角錐型ミラーのそれぞれの反射面毎に設けられていることを特徴とする全方位ステレオ画像撮影装置。

【請求項 5】 所定方向の実質上全方位の像を反射させ

る第 1 のミラーと、  
前記第 1 のミラーと中心軸同士が実質上一致しており、前記第 1 のミラーと対向するように配置された、所定方向の実質上全方位の像を反射させる第 2 のミラーと、  
前記第 1 のミラー及び第 2 のミラーによりそれぞれ反射した同一対象物の 2 種類の画像の内、前記第 1 のミラーにより反射した画像をステレオ画像の一方の画像として撮像する第 1 のカメラと、  
前記 2 種類の画像の内、前記第 2 のミラーにより反射した画像をステレオ画像の他方の画像として撮像する第 2 のカメラと、を備えたことを特徴とする全方位ステレオ画像撮影装置。

【請求項 6】 前記第 1 及び第 2 のミラーは、回転対称な形状のミラーであることを特徴とする請求項 5 記載の全方位ステレオ画像撮影装置。

【請求項 7】 前記回転対称な形状のミラーが、双曲面ミラー、円錐型ミラー又は球面ミラーであることを特徴とする請求項 6 記載の全方位ステレオ画像撮影装置。

【請求項 8】 請求項 1 ～ 7 の何れか一つに記載の全方位ステレオ画像撮影装置によって撮影された画像データを利用して、前記 2 つのミラー又は前記相互に対応する 2 つの反射面により反射した各画像の画像領域間のステレオ対応点を求める対応点計算部と、  
前記対応点計算部で求めたステレオ対応点に基づいて、その対応点の 3 次元座標を計算する奥行き計算部と、を備えたことを特徴とする全方位ステレオ画像撮影装置。

【請求項 9】 前記全方位ステレオ画像撮影装置が、請求項 2 記載の全方位ステレオ画像撮影装置であって、前記 2 つのミラーにより反射した各画像の画像領域の一方が同心円の内側の円の内部領域に、他方が前記同心円の外側の円と前記内側の円との間の領域に対応しており、前記対応点計算部が前記内部領域と前記双方の円の間の領域との間の前記ステレオ対応点を求める場合、前記同心円の中心から半径方向への直線上を探索することを特徴とする請求項 8 記載の全方位ステレオ画像撮影装置。

## 【発明の詳細な説明】

### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、全方位のステレオ画像対を得ることのできる全方位ステレオ画像撮影装置に関するものである。

### 【0002】

【従来の技術】従来、全方位の画像を実時間で撮影する装置としては、特開平 6 - 2 9 5 3 3 3 号公報に開示されているものなどがある。図 1 1 はこの従来の装置の構成図であり、8 0 1 は回転双曲面のミラーであり、8 0 2 はカメラである。双曲面ミラー 8 0 1 は凸部分が反射面であり、その凸部分を鉛直下向きに配置し、カメラ 8 0 2 は、双曲面の外焦点 8 0 3 にレンズ中心がくるよう配置する。

【0003】ミラーの内側の焦点を804とし、点805から内側の焦点804へ向かう光806は、ミラー801で反射され、カメラのレンズ中心である外側の焦点803を通過する。このためカメラ802で得られる像は、内側の焦点804から見た中心投影の像と等価なものになる。

【0004】このようにして、リアルタイムに全方位の画像を取得することができる。

【0005】また、高い解像度の全方位の画像を取得するために、角錐型のミラーと複数個のカメラを用いた全方位の画像の撮影装置として、特開平8-125835号公報に開示されているものがある。

【0006】図12は、この従来の装置の構成図であり、901は角錐型のミラーであり、902は角錐ミラー901の各面に写る像をとらえるよう各面に対応して配置されたカメラ群である。

【0007】各カメラのレンズ中心が対応するミラー面によって作られる虚像が角錐の中心の一点で重なるよう、各カメラの位置を配置することにより、虚像の交点から外周方向を見たのと等価な全周囲の画像を分割したものが、各カメラに取得される。

【0008】このようにして分割して得られた画像を、画像処理によって繋ぎあわせることにより、全周囲のパノラマ画像を生成する。

【0009】この場合、全周囲画像を1つのカメラで取得する場合に比べ、カメラの解像度が同じ場合、複数のカメラで分担した方が高解像度の画像が得られることとなる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら上記の方法を距離計測などで用いられるステレオ画像の撮影に利用する場合、以下のような課題が生じる。

【0011】ステレオ画像の撮影は、異なるカメラ位置から同一対象を撮影した2つのステレオ画像対を撮影することになる。上記全方位の撮影装置を用いる場合でも、2つの撮影装置を一定の間隔において並べることとなる。

【0012】その場合、全方位の撮影装置の特性から、一方の撮影装置の映像には、もう一方の撮影装置がお互いに写り、視野をふさぐこととなる。これは、全方位の撮影を損なうこととなる。

【0013】前記課題を解決するために、一台の撮像装置を移動し、異なる位置での映像を時間を置いて撮影する移動ステレオの手法を用いることも可能である。しかし、この場合リアルタイムの映像の取得は不可能となる。

【0014】本発明は、従来の全方位ステレオ撮影装置のこのような課題を考慮して、従来に比べてより完全な全方位のステレオ画像対を、リアルタイムに取得することが出来る全方向ステレオ画像撮影装置を提供すること

を目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の本発明は、所定方向の全方位の像を反射させる第1のミラーと、前記第1のミラーと中心軸同士が実質上一致した、所定方向の全方位の像を反射させる第2のミラーと、前記第1のミラー及び第2のミラーによりそれぞれ反射した同一対象物の2種類の画像をステレオ画像として撮像するカメラとを備え、前記第1のミラー、前記第2のミラー、及び前記カメラは、前記2種類の画像が前記カメラ内においてそれぞれ異なる位置に像を結ぶように配置されている全方位ステレオ画像撮影装置である。

【0016】請求項3記載の本発明は、所定方向の実質上全方位の像を反射させる第1の角錐型ミラーと、前記第1の角錐型ミラーと中心軸同士が実質上一致した、所定方向の実質上全方位の像を反射させる第2の角錐型ミラーと、前記第1の角錐型ミラーの一つの反射面、及びその反射面に対応した前記第2の角錐型ミラーの一つの反射面によりそれぞれ反射した同一対象物の2種類の画像をステレオ画像として撮像する、前記第1又は第2の角錐型ミラーの反射面毎に設けられたカメラとを備え、前記第1の角錐型ミラーの前記一つの反射面、前記第2の角錐型ミラーの前記一つの反射面、及び前記カメラは、前記2種類の画像が前記カメラ内においてそれぞれ異なる位置に像を結ぶように配置されている全方位ステレオ画像撮影装置である。

【0017】請求項4記載の本発明は、所定方向の実質上全方位の像を反射させる第1の角錐型ミラーと、前記第1の角錐型ミラーと中心軸同士が実質上一致しており、且つ、角錐型ミラーの底面同士が対向するように配置された、所定方向の実質上全方位の像を反射させる第2の角錐型ミラーと、前記第1の角錐型ミラーの一つの反射面、及びその反射面に対応した前記第2の角錐型ミラーの一つの反射面によりそれぞれ反射した同一対象物の2種類の画像の一方を、ステレオ画像の片方の画像として撮像するカメラとを備え、前記カメラは、前記第1の角錐型ミラーのそれぞれの反射面毎に、及び前記第2の角錐型ミラーのそれぞれの反射面毎に設けられている全方位ステレオ画像撮影装置である。

【0018】請求項5記載の本発明は、所定方向の実質上全方位の像を反射させる第1のミラーと、前記第1のミラーと中心軸同士が実質上一致しており、前記第1のミラーと対向するように配置された、所定方向の実質上全方位の像を反射させる第2のミラーと、前記第1のミラー及び第2のミラーによりそれぞれ反射した同一対象物の2種類の画像の内、前記第1のミラーにより反射した画像をステレオ画像の一方の画像として撮像する第1のカメラと、前記2種類の画像の内、前記第2のミラーにより反射した画像をステレオ画像の他方の画像として撮像する第2のカメラとを備えた全方位ステレオ画像撮

影装置である。

【0019】請求項8記載の本発明は、上記全方位ステレオ画像撮影装置によって撮影された画像データを利用して、前記2つのミラー又は前記相互に対応する2つの反射面により反射した各画像の画像領域間のステレオ対応点を求める対応点計算部と、前記対応点計算部で求めたステレオ対応点に基づいて、その対応点の3次元座標を計算する奥行き計算部とを備えた全方位ステレオ画像撮影装置である。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図1から図7を用いて説明する。

【0021】（実施の形態1）図1は本発明の全方位ステレオ画像撮影装置の概略構成図を示す。

【0022】図1において、101、102は、ことなる曲率の双曲面の断面を持つ双曲面ミラーであり、103は鉛直方向を示しており、前記双曲面ミラー101、102の軸は、鉛直方向103と一致する。104はそ\*

$$(x^2 + y^2) / a_1^2 - (z - c_1)^2 / b_1^2 = -1$$

【0026】ここで、 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ は、双曲面の形状を決めるパラメータで、以下の関係がある。

【0027】

【数2】

$$c_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

$$(x^2 + y^2) / a_2^2 - (z - c_2)^2 / b_2^2 = -1$$

【0031】

【数4】

$$c_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}$$

【0032】の関係が成り立つ。ここで双曲面ミラー2の内側の焦点206の座標は、 $(0, 0, 2C_2)$ となる。

【0033】いま図2の207で示される点P( $X_p$ 、 $Y_p$ 、 $Z_p$ )が、投影面204にどのように写るかを示す。点Pから焦点205に向かう光は、双曲面ミラー1で反射され、原点におかれたカメラのレンズに入射する。このとき投影面204に写る像が、208の点P<sub>1</sub> ( $x_{p1}$ 、 $y_{p1}$ 、 $f$ )である。

【0034】同様に207の点Pから、双曲面ミラー2の焦点206に向かう光が、投影面204に結ぶ像は、209の点P<sub>2</sub> ( $x_{p2}$ 、 $y_{p2}$ 、 $f$ )で表される。

【0035】投影面の像の様子を図3に示す。301はカメラの撮影範囲を示し、302のリング状の部分が双曲面ミラー1に反射した像の写る範囲であり、303の円状の部分が双曲面ミラー2の反射像の写る範囲を示している。

【0036】この302、303が、全方位に対応する

\*の双曲面の外側の焦点にレンズ中心が位置するように、鉛直方向103に沿って配置されたカメラである。

【0023】この光学的な配置を図2を用いて説明する。図2は、図1の鉛直線103を含む面にそった断面の模式図である。201は上部に位置する双曲面ミラー1であり、202は下部に位置する双曲面ミラー2である。尚、図2の双曲面ミラー1(201)は、図1の双曲面ミラー101に対応し、又、双曲面ミラー2(202)は、図1の双曲面ミラー102に対応する。ここで、座標系を、原点0を2つの双曲面ミラーの焦点203におき、上方向をZ軸、横方向をY軸、画面手前方向をX軸とする。カメラの焦点距離をfとして、像を結ぶZ=fの投影面を204とする。

【0024】双曲面ミラー1の形状は、次の式で表せる。

【0025】

【数1】

※【0028】図2のように、外側の焦点を原点(0, 0, 0)に固定した場合、もう一つの内側の焦点205の座標は、 $(0, 0, 2C_1)$ となる。

※【0029】同様に双曲面ミラー2に関して

【0030】

【数3】

ステレオ画像対である。このように同一カメラの投影面に、領域が分かれてステレオ画像対が投影されるので、カメラを動画記録可能なビデオカメラなどにすれば、リアルタイムで全方位のステレオ画像が撮影できる。

【0037】なお、以上の説明では、全方位を写すためのミラーを、双曲面ミラーで構成した例で説明したが、その他の角錐ミラーでも同様に実施可能である。これについては、更に後述する。

【0038】次に、双曲面ミラーから得られたステレオ画像対の関係から、計測点の3次元情報を計測する手法について説明する。

【0039】図2の207で示された点Pが投影面204に投影された点P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>は、図3では、それぞれ304、305で示される位置に投影される。投影面上でのP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>の座標は、それぞれ( $x_{p1}$ 、 $y_{p1}$ )、( $x_{p2}$ 、 $y_{p2}$ )となる。

【0040】3次元空間で同一の点Pが、2つの双曲面ミラー1、2によって投影された点P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>の間には、双曲面ミラーがZ軸に関して回転対称であるという性質から、双曲面ミラーの軸の中心を通る直線上に並ぶという制約が生じる。言い換えると、空間上の同一点の投影面上での対応点を探索するステレオ対の探索の時に、探

索範囲を2次元の平面から、1次元の直線に限定でき、探索にかかる処理を低減できる。

【0041】処理の流れを図4を用いて説明する。401は、図3で示したカメラでの撮影画像である。402は、前記撮影画像からステレオ対応点を探索する対応点計算部であり、403は前記対応点計算部からのステレオ対応点の組から、その点の3次元座標を計算する奥行き計算部である。

【0042】対応点計算部402においては、撮影画像を中心から外側に向かって放射方向に輝度値の一次微分を行い、エッジを抽出する。このエッジデータに対して、ステレオ対応点を相関を計算して探索する。探索範囲は中心から放射状にのびる直線状に限定する。相関値が予め与えたしきい値より高い点の組の座標 $P_1(x_{p1}, y_{p1})$ 、 $P_2(x_{p2}, y_{p2})$ を、403の奥行き計算部に出力する。

【0043】奥行き計算部403においては、与えられた2つのステレオ対応点の組から、図2の207に示す対応点Pの3次元座標( $X_p$ 、 $Y_p$ 、 $Z_p$ )を計算する。

【0044】図5に示すように、双曲面のパラメータ $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 、カメラの焦点距離 $f$ 、点Pから双曲面の内側の焦点への直線が水平線とのなす角を $-\alpha_1$ 、双曲面ミラー1からの原点への反射光と水平線がなす角を $\beta_1$ とすると、

【0045】

【数5】

$$Z_p = \sqrt{X_p^2 + Y_p^2} \tan \alpha_1 + 2C_1$$

【0046】

【数6】

$$\tan \alpha_1 = \frac{(b_1^2 + c_1^2) \sin \beta_1 - 2b_1c_1}{(b_1^2 - c_1^2) \cos \beta_1}$$

【0047】

【数7】

$$\beta_1 = \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{x_{p1}^2 + y_{p1}^2}}$$

【0048】の関係が得られる。ここで、図5では、双曲面ミラー1と点Qとの関係を描いた説明図であり、その説明の都合上、双曲面ミラー2の記載を省略している。従って、同図の双曲面ミラー1を双曲面ミラー2と見なすことにより、双曲面ミラー2についても、上記と同様に、

【0049】

【数8】

$$Z_p = \sqrt{X_p^2 + Y_p^2} \tan \alpha_2 + 2C_2$$

【0050】

【数9】

$$\tan \alpha_2 = \frac{(b_2^2 + c_2^2) \sin \beta_2 - 2b_2c_2}{(b_2^2 - c_2^2) \cos \beta_2}$$

【0051】

【数10】

$$\beta_2 = \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{x_{p2}^2 + y_{p2}^2}}$$

【0052】の関係が成り立つ。

【0053】また、ステレオ対応点が、投影面で中心を通る直線の上に制限されるという拘束は、その直線が投影面のX軸となす角を $\theta$ として

【0054】

【数11】

$$\tan \theta = \frac{y_{p1}}{x_{p1}} = \frac{y_{p2}}{x_{p2}}$$

【0055】の関係が得られる。

【0056】(式5)から(式11)を元に、 $X_p$ 、 $Y_p$ 、 $Z_p$ について求めると

【0057】

【数12】

$$X_p = R \cos \theta$$

$$Y_p = R \sin \theta$$

$$Z_p = R \tan \alpha_1 + 2C_1$$

ここで

$$R = -\frac{2(C_1 - C_2)}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2}$$

【0058】よって、双曲面ミラーの形状のパラメータ $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 、 $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ 、カメラの焦点距離 $f$ は判っているので、ステレオ対応点 $(x_{p1}, y_{p1})$ 、 $(x_{p2}, y_{p2})$ の組から(式12)により、対応する点の3次元座標を計算する。計算された出力が図4の404の座標出力である。

【0059】(実施の形態2)図6は、本発明の全方位ステレオ画像撮影装置の実施の形態2の概略構成図を示す。

【0060】図6において、601は上部角錐ミラー、602は下部角錐ミラーであり、その中心線605と一致する603は上部角錐ミラーの各面の反射像を撮影する上部カメラ群、604は下部角錐ミラーの各反射像を撮影する下部カメラ群である。

【0061】光学的な配置を図7を用いて説明する。図7は、図6の中心線605を含み、角錐の1つの面に垂直に交わる平面に沿った断面の模式図である。701、702は、それぞれ上部角錐ミラー、下部角錐ミラー、703、704はそれぞれ上部カメラ、下部カメラであ

る。705を2つの角錐ミラーの中心線上の中間点Oとする。上部カメラ703に写る映像は、ミラー701によって反射され、上部カメラ703の虚像706の位置から見た映像と等価なものになる。同様に下部カメラ704の虚像を707とする。

【0062】水平方向に分割された像を、全方位のステレオに隙間なく接合するためには、各方向のカメラのレンズ中心を一致させる必要がある。1つのカメラで時間をずらして撮影する場合には、レンズ中心も回転の中心として、水平方向に回転すればよいが、同時に複数のカメラで撮影する場合には、同時に2つのカメラを同じ場所に置けないので不可能である。しかしミラーを使って、すべてのカメラの虚像のレンズ中心を1つの点に集めれば、カメラの実体は別々の場所に位置し、等価的なレンズ中心だけを一点に集めることができる。角錐ミラーの場合、このレンズ中心の集まる場所は、角錐ミラーの中心線上になり、各カメラは虚像のレンズ中心が、中心線上の一点に位置するよう配置される。

【0063】カメラ703の撮影範囲を、線分708、709で囲まれる領域、カメラ704の撮影範囲を線分710、711で囲まれる領域としたとき、両方のカメラに投影像が写るステレオ計測可能な領域は、712で示す斜線の領域となる。

【0064】次に、この領域とミラー、カメラの画角、位置との関係を説明する。図7に示すように、角錐ミラーの角度を $\gamma$ とする。上部、下部とも同じ形状のミラーとする。またカメラ703、704の光軸は鉛直線上を向いているとする。このときミラーによって反射されたカメラの光軸713、714が水平方向となす仰角を $\phi$ とすれば、 $\gamma$ と $\phi$ との関係は次の式ようになる。

【0065】

【数13】

$$\gamma = \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) / 2$$

【0066】705の原点Oからカメラの虚像のレンズ中心までの距離をLとして、カメラの上下方向の画角を $2\rho$ とする。705の原点Oから外側に向かって水平な方向をY軸、鉛直方向をZ軸とし、計測領域712が始まる点715の座標を(0,  $y_0$ , 0)とおけば、 $y$ は、

【0067】

【数14】 $y_0 = L / \tan(\phi + \rho)$

となる。

【0068】計測領域712の形状が変化する点716のY座標を $y_c$ とすれば、 $y_0 < y < y_c$ での計測領域712の境界上の点716のz座標は、

【0069】

【数15】 $z = y \tan(\phi + \rho) - L$

となる。

【0070】 $y_c < y$ での計測領域712の境界上の点717のz座標は、

【0071】

【数16】 $z = L - y \tan(\phi - \rho)$

となる。(式14)、(式15)から、点717の座標 $y_c$ は、

【0072】

【数17】

$y_c = 2L / (\tan(\phi + \rho) + \tan(\phi - \rho))$ となる。

【0073】計測したい対象が存在する領域を、計測領域712が覆うように、角錐ミラーの距離L、仰角 $\phi$ を調整することにより、望む計測領域のステレオ画像対を取得することができる。

【0074】なお、以上の説明では、全方位を写すためのミラーを、角錐ミラーで構成した例で説明したが、その他の球面ミラー、円錐ミラー、双曲面ミラーでも同様に実施可能である。

【0075】以上述べたことから明らかな様に本実施の形態にれば、例えば、移動ロボットの視覚系や、人工現実感などの分野における実環境の取得などにおいて、全方位のリアルタイムの画像だけでなく、その画像中の対象物までの距離などの情報を与える全方位のステレオ画像対を得ることのできる全方位のステレオ画像撮影装置を提供することが出来る。

【0076】即ち、水平方向の全方位を写すミラー2組を、その互いが他方のミラーに写りこまないよう上下対称に組み合わせる、あるいは、2つの反射像を同一カメラの投影面の異なる位置に像を結ぶよう形状の違うミラーを上下方向に配置することにより、全方位のステレオ画像対をリアルタイムに取得可能となる。

【0077】特に曲率の違う2つの双曲面ミラーを組み合わせることにより、全方位のステレオ画像対を1つの映像の中に撮影可能となり、リアルタイムに全方位のステレオ画像撮影が可能となる。また得られた画像からステレオ対応点を探索する場合、放射状の直線上でのみ探索すればよく、高速に対応点の3次元座標を求めることが可能となる。

【0078】尚、上記実施の形態1では、全方位を写すためのミラーを、双曲面ミラーで構成した例で説明したが、これに限らず例えば、以下に示すような角錐ミラーで構成しても良い。

【0079】即ち、ここでは、全方位を写すためのミラーを、角錐ミラーで構成した実施例について説明する。

【0080】図8は、角錐ミラーで構成した本発明の全方位ステレオ画像撮影装置の概略構成図である。図8において、1001は上部角錐ミラーであり、1002は下部角錐ミラーであり、1003は上部、下部角錐ミラーの対応する平面の反射像を同時に撮影するカメラ群である。この場合、1つのカメラには対応する上下の角錐

ミラーの面のステレオ像が得られる。この像は、全方位を水平方向に分割したものであり、全カメラの像を合成することで、水平方向360度の像を得ることができる。

【0081】次に、光学的な配置を、図9を用いて説明する。図9は、図8の角錐ミラーの中心軸を含み、角錐ミラーを構成する平面ミラーの1つに垂直な平面で切断した断面図を示している。1101が注目する上部角錐ミラー面、1102は、それに対応する下部角錐ミラー面である。1103は、それら2つのミラー面に写る反射像を撮影するカメラである。

【0082】1104に示す点Qが、上部、下部ミラー面で反射され、カメラ1103の投影面1105に写る像は、それぞれq1、q2となる。よって、同一の点からの2つのステレオ対が、1つのカメラの投影面上に得られる。

【0083】この様にして得られた点q1、q2の座標を利用して、以下に述べる計算により、点Qの3次元座標が得られる。

【0084】ここで、点Qの3次元座標と、カメラの投影像の関係について、図11、12を参照しながら述べる。

【0085】即ち、図11に示すように、1103のカメラから見た像は、カメラの虚像1106、1107から見た場合の像と等価である。よってカメラ1103に撮影される像を考える場合、仮想的に虚像1106、1107の位置にカメラをおいたものとして、考えても良い。ただし、鏡像の関係にあるため、撮影される像も、反転した虚像の関係にあることに注意する必要がある。

【0086】次に、図12を参照しながら、点Qの3次元座標の算出方法について更に述べる。

【0087】図10は、1201の下部ミラー面に関して1204の点Qと、1206の投影像q2の関係を示したものである。今1202のカメラのレンズ中心を座標系の原点として、カメラの光軸方向をZ軸、ミラー面に垂直な横方向をY軸、図面手前方向をX軸とする。1201のミラー面は、Z軸と成す角が $\gamma$ で、Z軸と交わ\*

$$(X_0', Y_0', Z_0')$$

$$= (X_0, Y_0 + R \sin \phi, Z_0 + R + R \cos \phi) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$= (X_0, Y_0 \cos \phi - (Z_0 + R) \sin \phi, Y_0 \sin \phi + (Z_0 + R) \cos \phi + R)$$

$$= (X_0, Y_0 \cos 2\gamma - (Z_0 + R) \sin 2\gamma, Y_0 \sin 2\gamma + (Z_0 + R) \cos 2\gamma + R)$$

【0097】となる。

【0098】Z'でfの距離にある投影面1207の投影により、点Qの投影像q2' ( $x_{q2}'$ 、 $y_{q2}'$ 、f)の座標が求まり、(式18)より、カメラへの投影像q2 ( $x_{q2}$ 、 $y_{q2}$ 、f)が求まる。

\* 点Qが原点OからRの距離にあるとする。

【0088】このXYZ座標系で、1204の点Qの座標を( $X_0$ 、 $Y_0$ 、 $Z_0$ )とし、焦点距離fのカメラの投影面1205に写る像1206をq2 ( $x_{q2}$ 、 $y_{q2}$ 、f)として、その2つの関係を求める。

【0089】1202のカメラの虚像を1203とし、そのレンズ中心をO'とする。点Qの投影像q2は、カメラの虚像の投影面1207に写る像q2' (1208)と鏡像の関係にある。よって1207の投影面上の座標系での、q2'の座標からq2の座標は求められる。

【0090】まず、原点が1203のカメラの虚像のレンズ中心O'にあり、カメラの虚像の光軸にZ'軸が一致し、X'軸が前記XYZ座標系のX軸と平行な、X'Y'Z'座標系を考える。この座標系でのq2'の座標は、( $x_{q2}'$ 、 $y_{q2}'$ 、f)となる。q2との鏡像の関係にあるので、

【0091】

$$\text{【数18】 } x_{q2} = -x_{q2}'$$

$$y_{q2} = -y_{q2}'$$

となる。

【0092】次に、点QのX'Y'Z'座標系での座標を求める。XYZ座標系とX'Y'Z'座標系の変換は、XYZ座標系の原点Oを、O'へ平行移動し、Z軸がZ'軸へ一致するよう、X軸周りに回転することにより、求められる。

【0093】今、Z軸とZ'軸の成す角を $\phi$ とすれば、

【0094】

$$\text{【数19】 } \phi = 2\gamma$$

の関係がある。一方、OからO'への平行移動により、Q( $X_0$ 、 $Y_0$ 、 $Z_0$ )の座標値は、

【0095】

【数20】 ( $X_0$ 、 $Y_0 + R \sin \phi$ 、 $Z_0 + R + R \cos \phi$ )となる。次に、X軸周りの $\phi$ 回転により

【0096】

【数21】

【0099】

【数22】

$$x_{q2} = -x_{q2}' = -f \cdot X_0' / Z_0'$$

$$y_{q2} = -y_{q2}' = -f \cdot Y_0' / Z_0'$$

50 以上により、ミラーの位置R、傾き $\gamma$ 、カメラの焦点距



離  $f$  を用いて、任意の点  $Q (X_q, Y_q, Z_q)$  と、そのカメラでの像  $q_2 (x_{q2}, y_{q2}, f)$  には、(式 2 1)、(式 2 2) の関係が成り立つ。

【0100】一方、図 9 におけるような、上部、下部の 2 つのミラー面では、その傾き  $\gamma$ 、カメラからの距離  $R$  が異なる。よって、一点  $Q$  のカメラでの投影像は、それぞれの  $\gamma$ 、 $R$  と (式 2 1)、(式 2 2) により、別の点  $q_1$ 、 $q_2$  となる。

【0101】従って、逆に、それぞれの  $\gamma$ 、 $R$  が判っていれば、点  $q_1$ 、 $q_2$  の座標と、(式 2 1)、(式 2 2) により、点  $Q$  の 3 次元座標  $(X_q, Y_q, Z_q)$  を計算できる。尚、上述した点  $Q$  の 3 次元座標の計算方法は、上記実施の形態 2 において点  $P$  の 3 次元座標を求める場合にも同様に用いることが出来ることは言うまでもない。

#### 【0102】

【発明の効果】以上述べたところから明らかな様に本発明は、従来に比べてより完全な全方位のステレオ画像対を、リアルタイムに取得することが出来るという長所を有する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施の形態の全方位ステレオ画像撮影装置の概略構成図

【図 2】同実施の形態の全方位ステレオ画像撮影装置の鉛直断面図

【図 3】同実施の形態のカメラにより得られる投影像を示す図

【図 4】同実施の形態の 3 次元座標を計算する処理の流れを示す図

【図 5】同実施の形態の光学系の関係を示す説明図

【図 6】本発明の全方位ステレオ画像撮影装置の第 2 の実施の形態の概略構成図

【図 7】本発明の第 2 の実施の形態の測定範囲を説明する図

【図 8】本発明の全方位ステレオ画像撮影装置の他の実施の形態の角錐ミラーを用いた概略構成図

【図 9】同実施の形態の鉛直断面図

【図 10】同実施の形態の光学系の関係を示す説明図

【図 11】従来の双曲面型全方位撮影装置の説明図

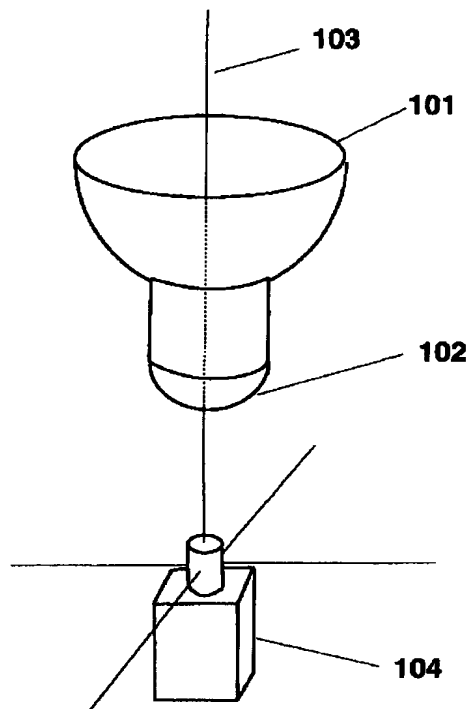
【図 12】従来の角錐型全方位撮影装置の説明図

#### 【符号の説明】

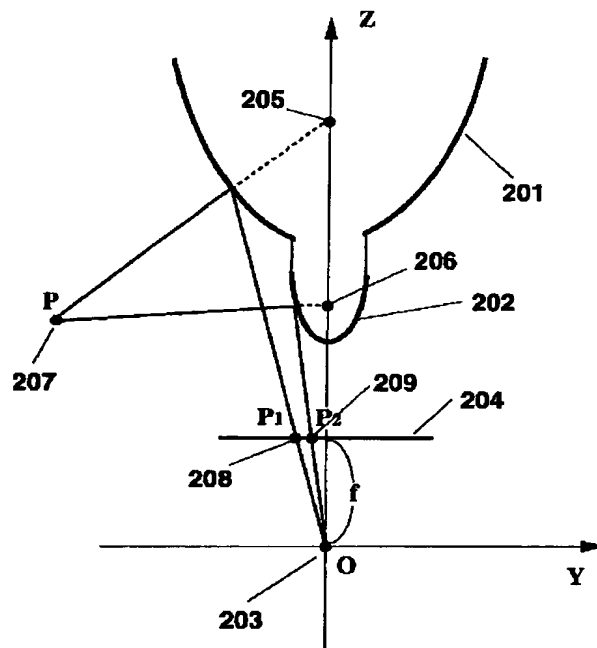
101 上部の双曲面ミラー  
102 下部の双曲面ミラー  
104 カメラ  
201、202 双曲面ミラー  
204 投影面  
205、206 双曲面の焦点

\* 207 計測点  
208、209 投影面へ投影された点  
301 撮影像  
302 上部双曲面ミラーの投影範囲  
303 下部双曲面ミラーの投影範囲  
401 投影像  
402 対応点計算部  
403 奥行き計算部  
404 3次元座標データ  
10 601、602 角錐ミラー  
603、604 カメラ群  
605 角錐中心  
701、702 角錐ミラー  
703、704 カメラ  
706、707 カメラの虚像  
708、709、710、711 カメラの撮影範囲  
712 ステレオ計測可能な領域  
713、714 カメラの光軸  
715、716、717、718 ステレオ計測可能な領域の境界上の点  
20 801 双曲面ミラー  
802 カメラ  
803 レンズ中心 (外焦点)  
804 内焦点  
805 観測点  
806 観測点からの光線  
901 角錐ミラー  
902 カメラ群  
1001 上部角錐ミラー  
1002 下部角錐ミラー  
1003 カメラ群  
1101 上部ミラー面  
1102 下部ミラー面  
1103 カメラ  
1104 計測点  
1105 カメラの投影面  
1106 上部ミラー面に対応するカメラの虚像  
1107 下部ミラー面に対応するカメラの虚像  
1201 ミラー面  
40 1202 カメラ  
1203 カメラの虚像  
1204 計測点  
1205 カメラの投影面  
1206 計測点の投影像  
1207 虚像の投影面  
1208 虚像の投影面への投影像

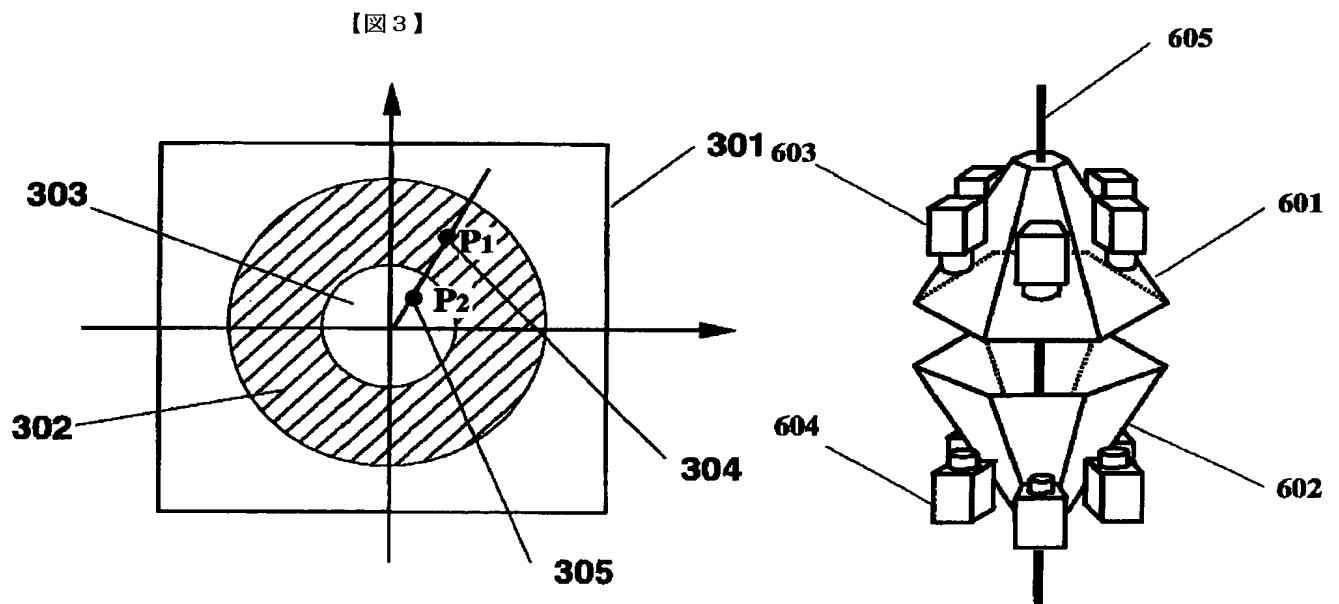
【図 1】



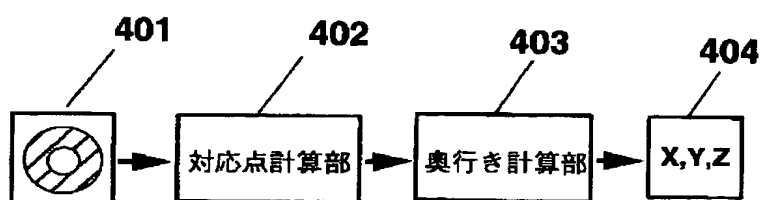
【図 2】



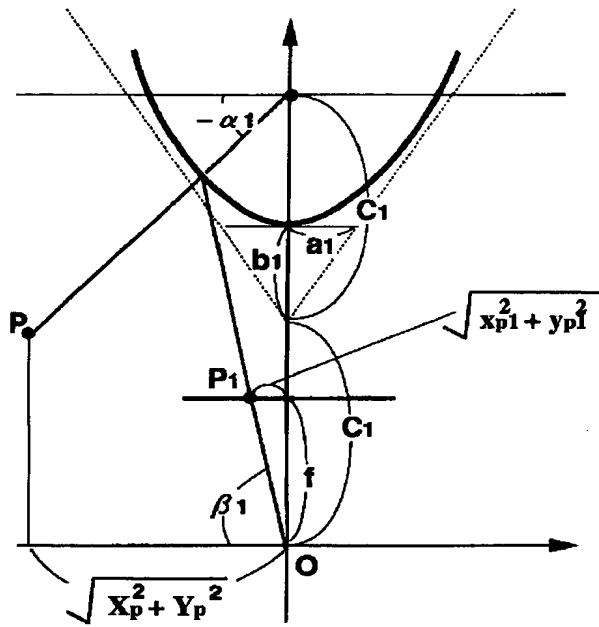
【図 6】



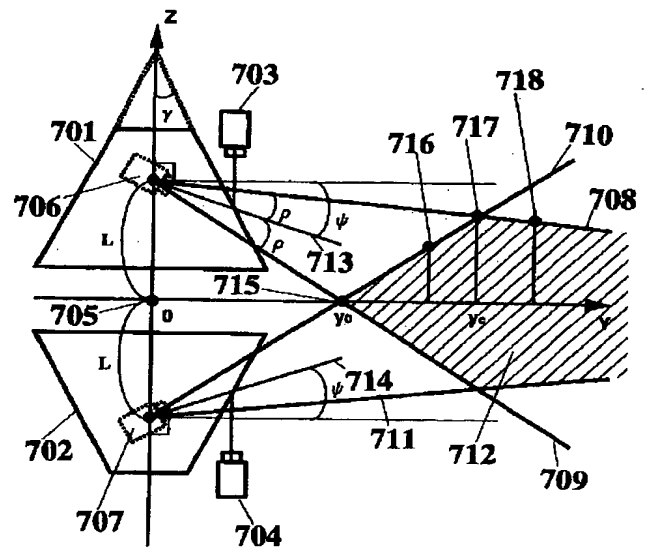
【図 4】



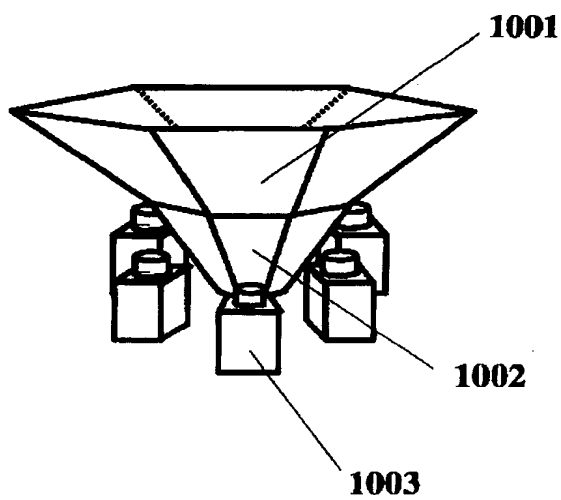
【図 5】



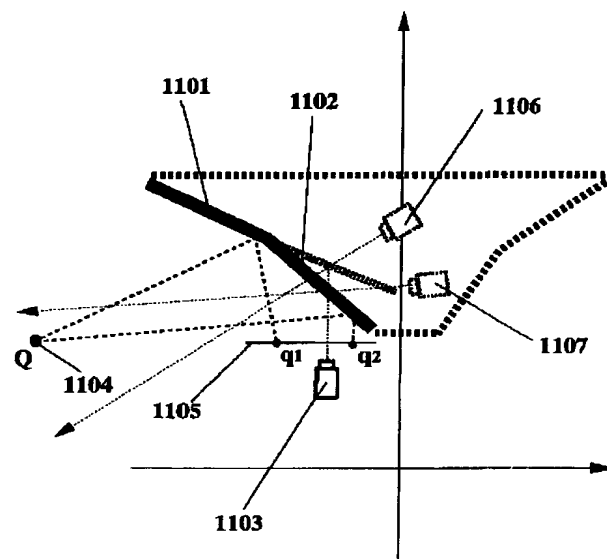
【図 7】

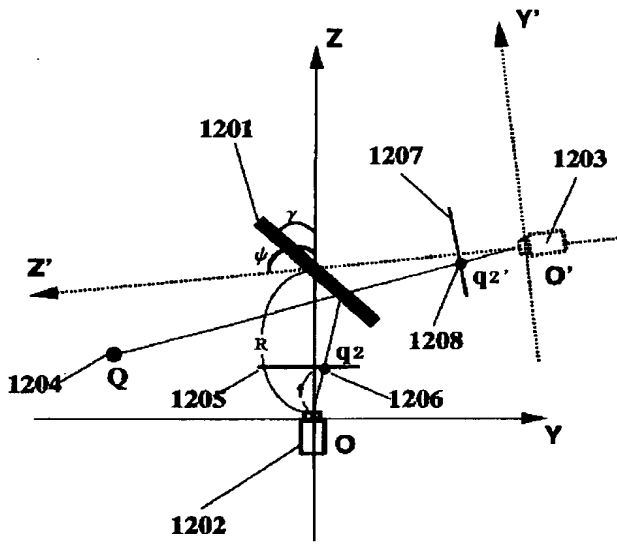


【図 8】



【図 9】





【図 1 2】

